

A stylized illustration in yellow, orange, and black. On the left, a tall power transmission tower with a lattice structure rises vertically. At the bottom, a power plant is depicted with various structures, including cooling towers and buildings, with wavy lines representing steam or water. The background is a solid yellow color.

电力生产常识

第 二 版

水利电力科学技术情报研究所

说 明

为了帮助水利电力系统各级干部、管理人员和非本专业技术人员在较短时间内了解电力生产过程,配合各有关生产、建设部门做好各项工作,原水利电力部科学技术情报室1973年编写了《电力生产常识》,1979年原电力工业部科学技术情报研究所进行了修订增补,并公开出版发行。鉴于近10年来我国电力工业取得较大的进展,无论发电量、装机容量或技术水平,都有较大的增长和提高。所以我们对《电力生产常识》一书再次进行修订增补,以适应形势的发展,满足各有关部门和读者的需要。

本书是按电力生产流程编写的,即从各类型电厂开始,包括火力发电厂、水电站、核电站等,经过变电、送电、配电,直至用户的全过程。对于每一部分的主要设备、流程,都简要地介绍了工作原理、结构、运行维护要求及有关注意事项,并对国内外的发展水平作了介绍,保留了原版本通俗易懂、附图较为直观的特点。

由于我们对国内外情况了解的局限性,书中难免存在错误与不当之处,望请读者指正。

水利电力科学技术情报研究所

1989年10月

目 录

说明

第一部分 火 力 发 电 厂

一、概述	1
(一) 火力发电厂的分类和容量	1
(二) 火力发电厂的燃料	3
二、火力发电厂的基本生产过程	4
(一) 汽水系统	4
(二) 燃烧系统	5
(三) 电气系统	6
(四) 火力发电厂的效率	7
三、锅炉设备	9
(一) 锅炉的容量和锅炉设备的组成	9
(二) 锅炉的汽水部分	11
(三) 锅炉的燃烧部分	16
(四) 锅炉附件	22
(五) 锅炉辅机	24
四、汽轮机设备	27
(一) 汽轮机的容量和种类	27
(二) 汽轮机的原理和结构	28
(三) 调速系统和危急保安器	34
(四) 油系统	35
(五) 汽轮机的附属设备	36
五、汽轮发电机	38
(一) 汽轮发电机的原理和结构	39

(二) 汽轮发电机的励磁设备·····	42
(三) 汽轮发电机的损耗和冷却方式·····	42
(四) 发电机母线·····	45
六、辅助生产系统·····	47
(一) 供水系统·····	47
(二) 输煤系统·····	50
(三) 除灰系统·····	53
(四) 锅炉水处理系统·····	55
(五) 厂用电系统·····	58
(六) 仪表和控制·····	59
七、火力发电厂的运行·····	62
(一) 机组的起动和停止运行·····	62
(二) 安全运行·····	63
(三) 经济运行·····	63

第二部分 水 电 站

一、概述·····	66
(一) 水力发电的基本生产过程·····	66
(二) 水力发电的特点·····	66
(三) 水电站的分类·····	67
(四) 流域开发和综合利用·····	71
(五) 装机容量和年发电量·····	72
(六) 国外水电发展趋势·····	73
二、水工建筑物·····	74
(一) 水工建筑物的分类和特点·····	74
(二) 拦河坝·····	75
(三) 泄洪建筑物·····	78
(四) 发电用专门建筑物·····	81
(五) 其它专门建筑物·····	82
(六) 水工建筑物的观测和维修·····	84

三、水库及水库调度	86
(一) 水库	86
(二) 水库调度	89
四、水轮发电机组	93
(一) 水轮机	93
(二) 水轮发电机	102
(三) 水轮发电机组的安全运行	105
(四) 水轮发电机组的经济运行	107
五、农村小水电站	108
(一) 建站方式	109
(二) 水工建筑物	111
(三) 水轮机设备	116
(四) 电气部分	117

第三部分 核能发电和其它发电方式

一、核电站	119
(一) 核能发电的原理	119
(二) 核电站常用的反应堆类型	119
(三) 核电站的单位造价、发电成本和运行可靠性	123
(四) 受控核裂变发电	123
二、地热能发电	124
(一) 用于干蒸汽的背压式热力系统	124
(二) 用于干蒸汽的凝汽式热力系统	125
(三) 用于湿蒸汽的单级扩容系统	125
(四) 用于湿蒸汽的多级扩容系统	125
(五) 用于汽水混合物的全流系统	126
(六) 用于热水的低沸点工质循环系统	126
三、风力发电	128
四、太阳能发电	130
(一) 集中型太阳能电站	130

(二) 分散型太阳能电站.....	131
-------------------	-----

第四部分 变 电 所

一、概述.....	133
(一) 变电所的设备.....	133
(二) 变电所的种类.....	134
二、变压器.....	136
(一) 变压器的构造和工作原理.....	136
(二) 变压器的分类.....	136
(三) 变压器的损耗和冷却.....	138
(四) 变压器的容量.....	140
三、互感器.....	141
四、开关设备.....	142
(一) 断路器.....	142
(二) 隔离开关.....	146
(三) 负荷开关.....	146
(四) 高压熔断器.....	147
(五) 六氟化硫全封闭组合电器.....	147
五、母线与屋外构架.....	148
六、电气主接线方式.....	149
七、防雷设备.....	151
八、变电所的运行维护.....	152
(一) 巡视.....	152
(二) 倒闸操作.....	153
(三) 预防性检查、测试和计划检修.....	153
九、换流站.....	154

第五部分 送 电 线 路

一、概述.....	159
-----------	-----

(一) 交流送电线路的架设型式	159
(二) 送电电压	160
(三) 架空送电线路的构成	161
二、导线	162
(一) 材料和构造	162
(二) 截面和线损	163
(三) 弧垂和对地距离	163
(四) 电晕和分裂导线	164
(五) 振动和防振	164
(六) 导线结冰	166
三、避雷线	166
四、绝缘子和金具	168
(一) 绝缘子	168
(二) 金具	172
五、杆塔和基础	173
(一) 杆塔类型	173
(二) 钢筋混凝土杆	176
(三) 铁塔	178
(四) 基础	179
六、直流输电线路	180
(一) 概述	180
(二) 直流输电的运行方式	181
(三) 直流线路的架设型式	182
七、送电线路的设计和施工	184
八、送电线路的维护	185
(一) 巡线	186
(二) 预防性检查和测试	186
(三) 线路检修	186

第六部分 电力系统

一、概述	188
------------	-----

(一) 电力系统的组成及其作用·····	188
(二) 电力系统的类型·····	191
(三) 电力系统的负荷·····	192
二、供电可靠性·····	194
(一) 电力系统的事故·····	194
(二) 停电的经济损失和供电可靠性的标准·····	195
(三) 提高供电可靠性的措施·····	196
三、电能质量·····	199
(一) 频率质量及低频率运行的危害性·····	199
(二) 电压质量及低电压运行的危害性·····	201
(三) 电压的不对称性与非正弦性·····	205
四、经济运行·····	206
(一) 经济负荷分配·····	206
(二) 降低线损·····	206
五、电力系统调度·····	207
(一) 调度机构·····	208
(二) 调度工作·····	208
(三) 调度自动化·····	209
六、通信和远动·····	210
(一) 电力系统的通信·····	211
(二) 电力系统远动化·····	212
七、继电保护·····	212
(一) 继电保护装置的作用·····	212
(二) 继电保护装置的工作原理及对它的要求·····	213
(三) 继电保护装置的分类·····	214
(四) 继电保护方式·····	214
(五) 继电保护的发展趋势·····	216
八、电气仪表·····	217

第一部分 火力发电厂

一、概 述

利用煤、石油和天然气等燃料发电的电厂，称为火力发电厂。在火力发电厂中，一般利用锅炉产生蒸汽，用蒸汽冲动汽轮机，由汽轮机带动发电机发电。

(一) 火力发电厂的分类和容量

火力发电厂通常按照蒸汽参数来分类。蒸汽参数就是蒸汽的压力（汽压）和温度（汽温）。汽压的单位是帕(Pa) 汽温的单位是摄氏度(℃)。

电厂的容量单位是千瓦。一般蒸汽参数较低的电厂容量较小，蒸汽参数较高的电厂容量较大。

我国火电厂采用的蒸汽参数和相应的电厂容量，如表1-1所示。实际上有些电厂装有两种或三种不同参数的机组，引进机组的容量和参数也与表中所列者有所不同。

目前我国最大的火电厂是江苏省谏壁电厂，容量为1625兆瓦，共安装10台机组。新建的大型火电厂安装的机组台数，一般不超过4台。已投产的最大机组为内蒙古自治区元宝山电厂的600兆瓦进口机组以及按引进技术制造的安徽省平圩电厂600兆瓦机组等。

国外火电厂按蒸汽参数的分类与我国相似，汽压一般为 $243.18 \times 10^5 \sim 253.31 \times 10^5$ 帕 (240~250大气压)[●]，汽温

● 227.98×10^5 帕 (225大气压) 称为水的临界压力 (详见锅炉部分)， 227.98×10^5 帕 (225大气压) 以上称为超临界压力， $172.25 \times 10^5 \sim 212.78 \times 10^5$ 帕 (170~210大气压) 一般称为亚临界压力。

表 1-1

电厂类型	汽压 (帕)		汽温 (°C)		电厂和机组容量的大致范围
	锅 炉	汽轮机	锅 炉	汽轮机	
中温中压电厂	39×10^5	34×10^5	450	435	10~200兆瓦的中小型电厂 (6~50兆瓦机组)
高温高压电厂	99×10^5	88×10^5	540	535	100~600兆瓦的大中型电厂 (25~100兆瓦机组)
超 高 压 电 厂	138×10^5	132×10^5	540	535	250兆瓦以上的大中型电厂 (125~200兆瓦机组)
亚临界压力电厂	168×10^5	167×10^5	540	535	600兆瓦以上的大型电厂 (300兆瓦机组)
超临界压力电厂		241.3×10^5		538/538	120兆瓦以上大型电厂 (600兆瓦级机组)

注 1. 125兆瓦机组参数: 锅炉为 141.855×10^5 帕 (140大气压)、555°C; 汽轮机为 136.789×10^5 帕 (135大气压)、550°C。

2. 125兆瓦及300兆瓦机组, 今后产品汽温可能降低。

3. 表中未列中间再热汽温 (见后文)。

4. 按引进技术制造的300兆瓦和600兆瓦机组的电厂已投入运行, 也采用亚临界参数 (见锅炉和汽轮机部分)。

5. 超临界电压电厂按石洞口二厂安装的 2×600 兆瓦进口机组的参数。

6. 气压为绝对压力。

为535~570°C。这类电厂的容量大多在1000兆瓦以上。美、苏、日、英等国已经建成一批总容量在2000兆瓦以上, 单机容量为500~600兆瓦以至1300兆瓦的大型火电厂。目前国外已建成的最大火电厂是日本鹿岛火电厂, 装有4台600兆瓦和2台1000兆瓦机组, 总容量4400兆瓦。

大型电厂, 特别是烧劣质煤的电厂, 每天需要烧几万吨的煤, 运输量很大, 因此往往建设在煤矿附近, 称为矿口电厂。矿口电厂是我国目前火电建设的重点。

有些火电厂装有供热式机组，除发电外还向附近的工厂和住宅区供生产用汽和采暖用热水，称为热电厂。

为了解决临时用电的需要，还有移动式火电厂，例如列车电厂、船舶电厂等。

此外，还有燃气轮机^①及柴油机发电厂，用于带尖峰负荷或在某些特殊情况下采用。

（二）火力发电厂的燃料

1. 燃料的种类

火力发电厂的燃料主要有以下三种。

（1）煤 煤的成份有碳、灰分、水分和挥发物^②。常用煤及其主要特点如下：

烟煤	含碳较少，挥发物较多，容易着火
无烟煤	含碳多，挥发物少，不易着火
褐煤	挥发物及水分较多
石煤	灰分多，不易着火

（2）油 主要是重油，即炼油厂从石油中提炼出汽油、煤油、柴油等以后剩下的油。重油是一种优质燃料，灰分和水分都很少。

（3）气 主要是天然气，还有焦炉煤气、高炉煤气等。

2. 燃料的发热量

每公斤（气体燃料为每立方米）燃料完全燃烧后所发出的热量称为发热量，单位是焦耳，简称焦（J）。

各种燃料的发热量大致如下：

烟煤、无烟煤 $1.675 \times 10^4 \sim 2.931 \times 10^4$ 焦/公斤
(4000 ~ 7000 大卡/公斤)

① 燃气轮机的结构和汽轮机相似，但它的转子是由燃料（油或天然气）燃烧产生的高温气体直接冲动的

② 煤在隔绝空气的情况下加热时逸出的碳氢化合物等可燃气体称为挥发物。

褐煤及其它劣质煤	$6.280 \times 10^3 \sim 1.675 \times 10^4$ 焦/公斤 (1500~4000 大卡/公斤)
重油	$3.768 \times 10^4 \sim 4.187 \times 10^5$ 焦/公斤 (9000~10000 大卡/公斤)
天然气	$3.768 \times 10^4 \sim 5.443 \times 10^5$ 焦/公斤 (9000~13000 大卡/公斤)

为了便于比较耗煤量等,规定以发热量为 2.931×10^4 焦/公斤 (7000 大卡/公斤) 的煤为标准煤。

我国火电厂以烧煤为主,并曾建成一批烧油电厂。目前的政策是尽量压缩烧油,新建电厂全部烧煤,大部分烧油电厂已改烧煤。

有些国家火电厂烧油和天然气的比重较大,例如1970年日本火电厂燃料中油占73%,美国火电厂燃料中天然气占30%,油占14%。但近年来因石油价格大幅度上涨,而且石油资源相对地说比煤少得多,因此国内外新建的火电厂大多烧煤,有些原来烧油的电厂也将改烧煤。

烧油和天然气的电厂设备比较简单,基建投资可省10%以上,运行维护费用较低,效率也稍高一些。

二、火力发电厂的基本生产过程

火力发电厂的主要生产系统包括汽水系统、燃烧系统及电气系统,其生产过程分述如下。

(一) 汽水系统

火力发电厂的汽水系统,如图1-1所示。

汽水系统包括由锅炉、汽轮机、凝汽器及给水泵等组成的汽水循环和水处理系统、冷却水系统等。

水在锅炉中加热后蒸发成蒸汽,经过热器进一步加热成

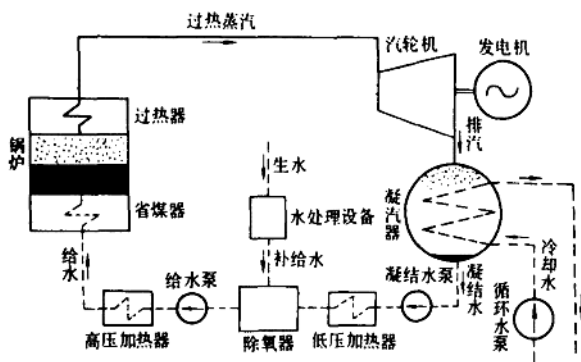


图 1-1 汽水系统流程

为过热蒸汽，然后经管道送入汽轮机。

在汽轮机中，蒸汽不断膨胀，高速流动的蒸汽冲动汽轮机的转子，带动发电机发电。在膨胀过程中，蒸汽的压力和温度不断降低，最后排入凝汽器。

在凝汽器中，汽轮机的排汽被冷却水冷却，凝结成水。

凝汽器下部的凝结水由凝结水泵升压后流经低压加热器和除氧器，提高水温并除去水中的氧（以防止腐蚀炉管等），再由给水泵进一步升压，然后经高压加热器打回锅炉（给水泵以后的凝结水称为给水）。

汽水系统中的蒸汽和凝结水总有一些损失，必须不断向系统补充经过化学处理的水或蒸馏水。补给水通常加入除氧器中。

（二）燃烧系统

锅炉的燃烧系统，如图1-2所示。

燃烧系统包括锅炉的燃烧部分及输煤、除灰系统等。

煤由皮带输送到锅炉房煤斗，进入磨煤机中磨成煤粉，

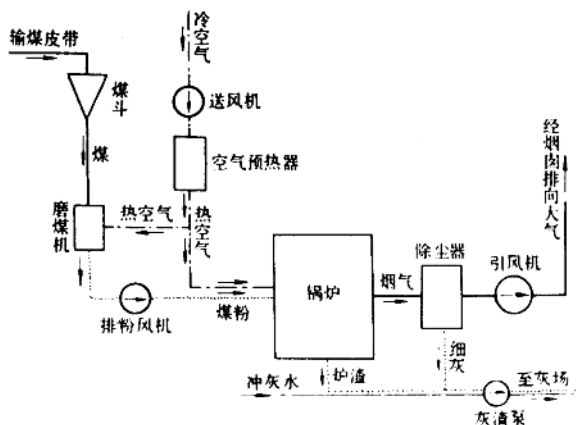


图 1-2 燃烧系统流程 (煤粉炉)

然后和经过预热的空气一起喷入炉内燃烧，烟气经除尘器后由引风机抽出，经烟囱排入大气。

炉渣和除尘器下部的细灰通常由灰渣泵排至灰场。

(三) 电气系统

电气系统，如图1-3所示。

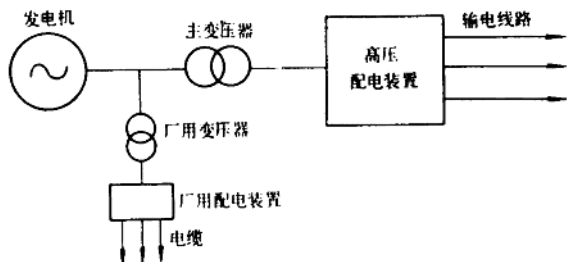


图 1-3 电气系统

发电机发出的电除电厂自用部分外，一般由主变压器升高电压后，经高压配电装置和输电线路向外供电。电厂自用部分通常由厂用变压器降低电压后，经厂用配电装置和电缆供厂内各种辅机及照明等用电。

火电厂的整个生产过程和主要设备的概况，如图1-4所示（见彩色图）。

（四）火力发电厂的效率

火电厂生产过程中，各个环节都有能量损失。如果以电厂锅炉燃煤的发热量作为100%，则各种参数电厂的能量损失和发电效率大致如表1-2所示。

表 1-2

项 目	中温中 压电厂	高温高 压电厂	超高压 电厂（中 间再热）	超 临 界 压力电厂 （中间再热）	说 明
锅炉热损失（%）	11	10	9	8	这4项损失主要与 机组容量有关，较大 的机组损失的百分数 较小。表中所列数据 为粗略的平均值
汽轮机的机械损失 （%）	1	0.5	0.5	0.5	
发电机损失（%）	1	0.5	0.5	0.5	
管道系统损失（%）	1	1.0	0.5	0.5	
汽轮机排汽热损失 （%）	61.5	57.5	52.5	50.5	主要决定于蒸汽参数
总 损 失（%）	75.5	69.5	63	60	
发电效率（%）	24.5	30.5	37	40	

这里的汽轮机排汽热损失，就是排汽在凝汽器内凝结成水时为冷却水所吸收并带走的潜热损失^①。以中温中压电厂

① 每公斤水蒸发成同温度的蒸汽时要吸收一定的热量，每公斤蒸汽凝结成同温度的水时，则放出同样多的热量，都叫潜热（详见锅炉和汽轮机部分）。

为例，每公斤汽轮机进汽的含热量为 3.308×10^3 焦（790大卡），而每公斤排汽在凝汽器内损失的热量约为 2.093×10^3 焦（500大卡）排汽凝结成水的损失如此大，但不凝结成水又无法送回锅炉去，这是火力发电厂效率低的主要原因。

提高火电厂效率的办法除提高锅炉、汽轮机等设备的制造、运行水平外，主要是提高蒸汽参数和采用中间再热。

进入汽轮机的蒸汽参数越高，它的含热量也越高，但排汽潜热损失变化不大，因此，当进汽参数提高时，转变为机械能的热量相对增加，从而提高了发电效率。

我国目前已大量采用超高压和亚临界压力机组，并开始采用超临界压力机组，比中温中压机组可以节约燃料30%~40%。

进一步提高蒸汽参数会带来一些问题。一般当汽温提高到570℃以上时，需采用一种特殊的不锈钢（奥氏体钢），它的价格很贵，可靠性较差。如果只提高汽压而不提高汽温，则非但效率提高很有限，而且使汽轮机低压部分蒸汽中的水分增多，影响安全运行。因此，超高压以上的机组普遍采用中间再热。

中间再热就是把在汽轮机内已经部分膨胀后降低了汽压、汽温的蒸汽，引入锅炉内的中间再热器中重新加热，如图1-5所示，一般使汽温提高到初蒸汽温度，然后再引回汽轮机中、低压部分继续做功。中间再热约可提高效率5%~6%，同时可以降低汽轮机低压部分蒸汽中的水分，有利于安全经济运行。我国已有一批125、200、300及600兆瓦的中间再热式机组投入运行。

目前国外大型机组的汽压一般采用 $162.12 \times 10^5 \sim 172.25 \times 10^5$ 帕（160~170大气压）或 $243.18 \times 10^5 \sim 253.31 \times 10^5$ 帕（240~250大气压），汽温535~570℃，中间再热至535~570℃。过去曾经有少数大型机组采用两次中间再热，可以进一

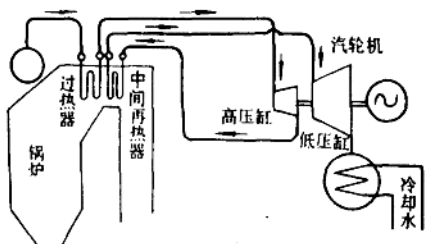


图 1-5 中间再热系统

步提高效率 2 % 左右，但系统过于复杂，除少数超临界压力机组采用外，近年来基本上已不采用。

提高发电效率的另一途径是利用供热式汽轮机的抽汽或排汽的潜热供生产及采暖用，从而减少或完全避免凝汽器中排汽的热量损失。热电厂就是这样的既发电又供热的热能综合利用电厂，它的发电效率可达 50 % ~ 80 %，但供热管道消耗钢材较多。

三、锅 炉 设 备

锅炉是生产蒸汽的设备。燃料在锅炉内燃烧，将化学能转变为热能，使水变成蒸汽，经管道送到汽轮机。

(一) 锅炉的容量和锅炉设备的组成

1. 锅炉的容量

锅炉的容量也叫蒸发量，单位是吨/时。锅炉的蒸汽参数就是锅炉出口处过热蒸汽的汽压和汽温。我国目前系列生产的锅炉，如表 1-3 所示（不包括低温低压锅炉）。

按引进技术制造的配 300 和 600 兆瓦汽轮机的锅炉容量，